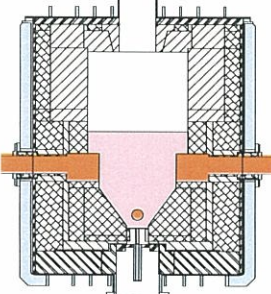

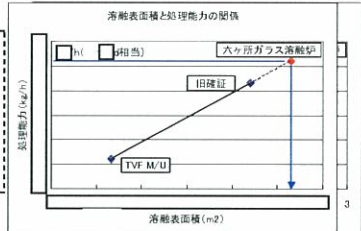
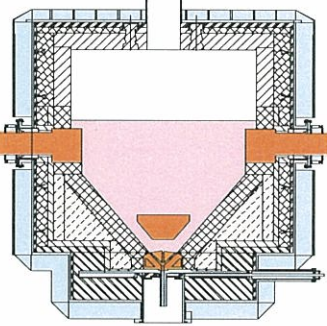
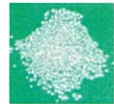
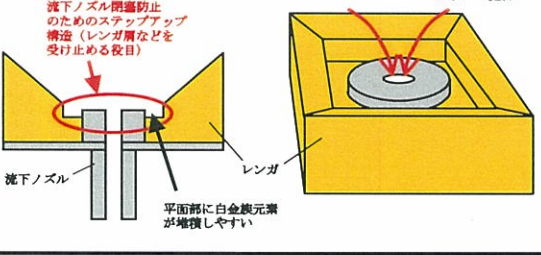
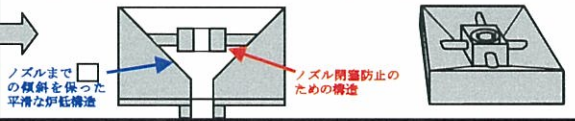
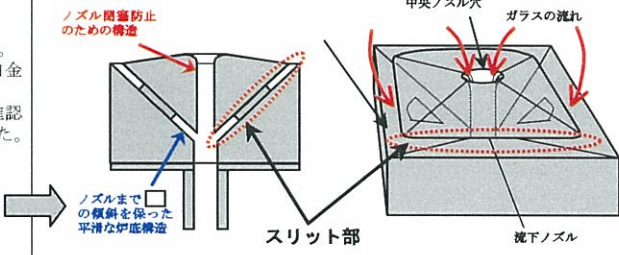
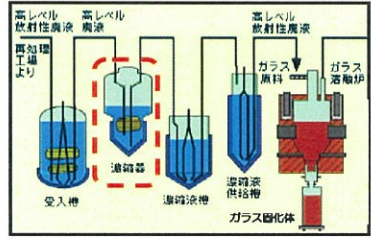
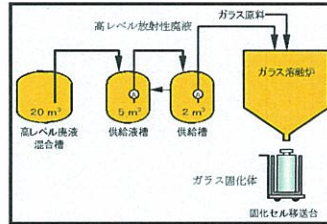


ガラス固化設備の開発、試験等の経緯

TVFからの設計導入

		TVF (1号炉)	TVFから当社ガラス溶融炉への変更の考え方	当社 (1号炉)																									
溶融炉構造・ガラス原料	溶融炉構造	 <p>溶融表面積 0.66m² ケーシング寸法 約 1.9W×1.9D×2.3H (m) ガラス保持量 MAX 約 880kg 廃液処理能力 0.35m³/day ガラス原料 ガラスカートリッジ 100% (下写真参照)</p>  <p>ガラスカートリッジ 約φ70mm×70mm</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●LFCM (液体供給式直接通電型セラミックメルト) 方式のガラス溶融炉の処理能力は溶融表面積に依存し、ほぼ比例の関係にあることがTVF溶融炉開発の過程で確認された。これに基づき当社ガラス溶融炉向けの確認試験炉初号機である旧確認溶融炉の表面積 (□m²) が設定され、最終的にこの旧確認溶融炉の結果も反映し、K施設ガラス溶融炉の溶融表面積□m²を設定した。(下図参照)  <p>●処理能力 溶融炉への廃棄物供給速度 ●再処理工場の最大処理能力 48U/d (ガラス溶融炉としては、50%×2 倍であることから、1基あたり24U/dの処理量が必要) □kg/h 基準原料(4500MWD/U)の原料を処理した際に必要となる処理能力</p> <ul style="list-style-type: none"> ●処理能力向上のためガラスカートリッジ 100%ではなく、ガラスビーズとの併用 (ビーズ 30%) 又はガラスビーズ 100%とした。その後 KMOC を実施する中で、処理能力及びコスト面で優位なガラスビーズ 100%のみの運転とした。 	 <p>溶融表面積 1.0m² ケーシング寸法 W2.95m×D3.08m×H2.77m ガラス保持量 MAX 約 4800kg 廃液処理能力 約 70L/h ガラス原料 ガラスビーズ 100% (下写真参照)</p>  <p>ガラスビーズ 約φ2mm</p>																									
	底部電極構造	 <p>流下ノズル閉塞防止のためのステップアップ構造 (レンガ層などを受け止める役目)</p> <p>ガラスの流れ</p> <p>流下ノズル</p> <p>レンガ</p> <p>平面部に白金族元素が堆積しやすい</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●底部電極は流下ノズルへの異物閉塞防止機能を有している。 ●TVF 1号炉は底部電極段差部に白金族元素が堆積しやすい構造であった。 ●異物閉塞防止機能を有しつつ、白金族元素が堆積する部位をなくし、白金族元素の抜き出し性が向上する構造を検討した。 ●確認改良溶融炉 (KMOC) 1次試験において、下図の底部電極構造で確認を行ったが、流下性が良好でなく、更なる改良を行い現在の構造に至った。  <p>ノズルまでの傾斜を保った平滑な炉底構造</p> <p>ノズル閉塞防止のための構造</p>	 <p>ノズル閉塞防止のための構造</p> <p>中央ノズル穴</p> <p>ガラスの流れ</p> <p>スリット部</p> <p>流下ノズル</p> <p>ノズルまでの傾斜を保った平滑な炉底構造</p>																									
廃液貯蔵・供給プロセス	<p>濃縮プロセス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・濃縮器あり ・濃縮方法：溶融炉に供給する廃液の濃度が一定となるよう濃縮を行う。  <p>高レベル放射性廃液 濃縮器</p> <p>高レベル放射性廃液</p> <p>高レベル放射性廃液</p> <p>ガラス原料</p> <p>ガラス溶融炉</p> <p>ガラス固化体</p> <p>受入槽</p> <p>濃縮液槽</p> <p>濃縮液供給槽</p> <p>ガラス溶融炉</p>	<p>概念設計当時の判断 [昭和 63 年当時]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価項目</th> <th colspan="2">評価</th> <th rowspan="2">非濃縮の選定根拠</th> </tr> <tr> <th>濃縮</th> <th>非濃縮</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>機能</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>溶融炉で十分な処理能力が確保されるので減容機能は不要。従って、濃縮器がなくとも機能上特に問題はない。</td> </tr> <tr> <td>信頼性</td> <td>△</td> <td>◎</td> <td>濃縮操作がないので運転上、耐食性の両面で信頼性が高い。保守対象も低減できる。</td> </tr> <tr> <td>操作性</td> <td>△</td> <td>◎</td> <td>濃縮器がないのでシンプルかつ確実な運転が可能。</td> </tr> <tr> <td>経済性</td> <td>△</td> <td>◎</td> <td>濃縮器周りの機器が削減される上、セル配置スペースも減少する。</td> </tr> <tr> <td>実績</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>国外に非濃縮プロセスの採用実績あり</td> </tr> </tbody> </table> <p>上記評価の結果、濃縮プロセスは運転操作が複雑となり、コストアップ要因が多いことから非濃縮プロセスを採用した。</p>	評価項目	評価		非濃縮の選定根拠	濃縮	非濃縮	機能	○	○	溶融炉で十分な処理能力が確保されるので減容機能は不要。従って、濃縮器がなくとも機能上特に問題はない。	信頼性	△	◎	濃縮操作がないので運転上、耐食性の両面で信頼性が高い。保守対象も低減できる。	操作性	△	◎	濃縮器がないのでシンプルかつ確実な運転が可能。	経済性	△	◎	濃縮器周りの機器が削減される上、セル配置スペースも減少する。	実績	○	○	国外に非濃縮プロセスの採用実績あり	<p>非濃縮プロセス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・濃縮器なし ・使用済燃料の燃焼度、上流建屋の運転状態によりK施設に受け入れる廃液濃度は変動 ・変動する廃液濃度に応じて溶融炉の運転方法を変更  <p>高レベル放射性廃液</p> <p>ガラス原料</p> <p>ガラス溶融炉</p> <p>ガラス固化体</p> <p>高レベル廃液混合槽</p> <p>供給液槽</p> <p>供給槽</p> <p>固化セル移送台</p>
評価項目	評価			非濃縮の選定根拠																									
	濃縮	非濃縮																											
機能	○	○	溶融炉で十分な処理能力が確保されるので減容機能は不要。従って、濃縮器がなくとも機能上特に問題はない。																										
信頼性	△	◎	濃縮操作がないので運転上、耐食性の両面で信頼性が高い。保守対象も低減できる。																										
操作性	△	◎	濃縮器がないのでシンプルかつ確実な運転が可能。																										
経済性	△	◎	濃縮器周りの機器が削減される上、セル配置スペースも減少する。																										
実績	○	○	国外に非濃縮プロセスの採用実績あり																										

白金族元素対策について(炉底低温運転の概要)

六ヶ所再処理工場のガラス溶融炉においては、ガラス溶融炉の炉底部を比較的低温の低い状態に維持する「炉底低温運転」という運転手法を採用している。この炉底低温運転を行うことにより、高レベル廃液とともに供給した白金族元素を炉底に沈降・堆積させることなく、ガラス溶融炉内で混合・溶解し、固化体容器に適切に抜き出している。(本操作を以下ガラス流下という)

なお、高レベル廃液中に含まれる白金族元素濃度は、標準燃焼度の使用済燃料を処理した高レベル廃液の場合においても、それぞれ1wt%以下であり高レベル廃液中の割合は少ない。

a. 炉底低温運転について

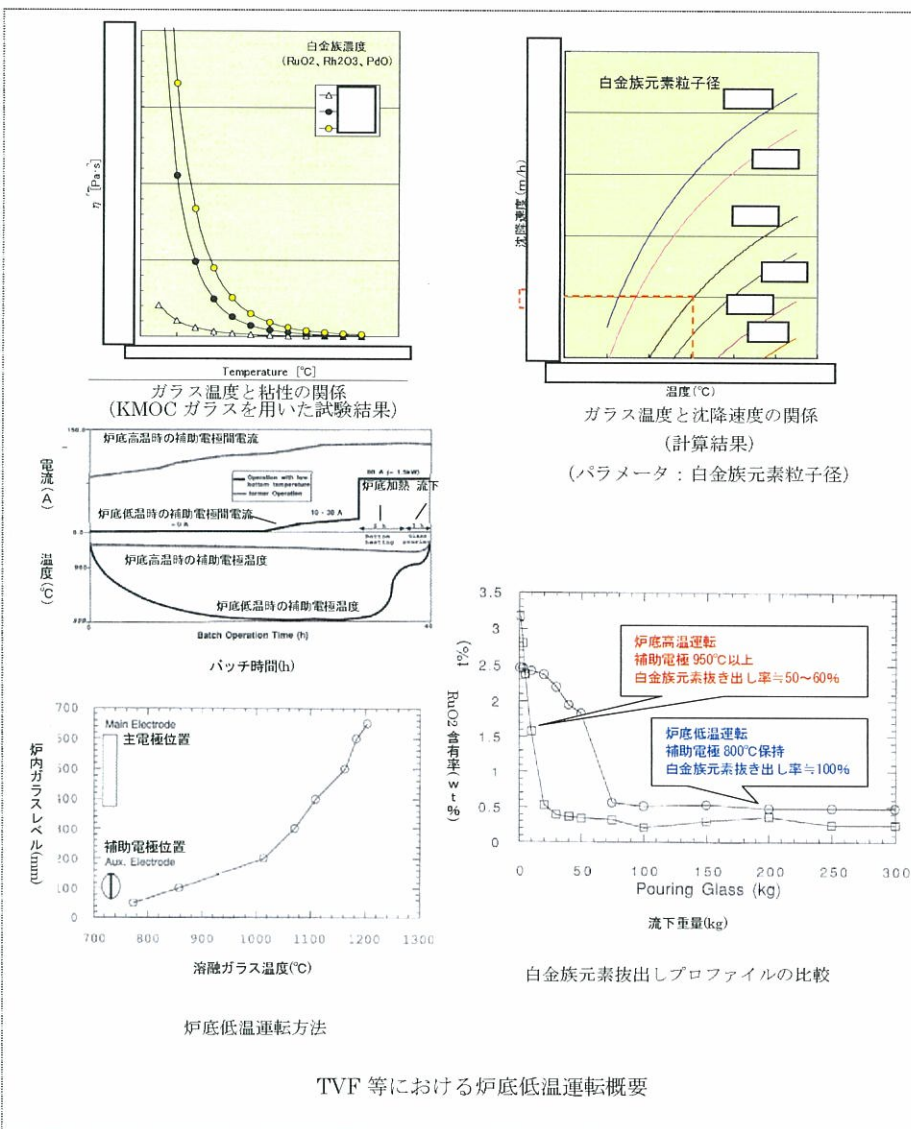
六ヶ所再処理工場のガラス溶融炉は、アクティブ試験において約16時間で1本のガラス固化体を製造した。溶融ガラスを固化体容器に注入するガラス流下を行うのはこのうち約3時間である。残りの約13時間は、固化体容器の交換等を行うために必要な時間であるが、この間ガラス溶融炉では、次の流下に備えて溶融ガラスの温度管理を行っている。これは主に、溶融ガラスに含まれる白金族元素の炉底部への沈降を抑制するための運転管理であり、ガラス溶融炉底部のガラス温度を低くし、溶融ガラスの粘性を高くすることにより白金族元素の沈降・堆積を抑制するものである。(なお、六ヶ所再処理工場ではガラス溶融炉が大型となったため炉底低温運転を確立するために日本原子力研究開発機構(以下、「JAEA」という。)東海研究開発センター ガラス固化技術開発施設(以下、「TVF」という。)溶融炉から補助電極及び底部電極の構造と冷却方法を変更している。)

この運転方法は、TVFにおいて開発されたものであり、「炉底低温運転」と呼んでいる(TVF等における炉底低温運転概要を右図に示す。)。この炉底低温運転によりKMOCを用いて運転を行った結果、供給した白金族元素をガラス流下によってほぼ100%抜き出す運転ができることを確認した。

b. 炉底部ガラス温度測定の必要性

この炉底低温運転では、炉底部のガラス温度を制御・監視することが重要となるためKMOCでは、炉底部に直接ガラス温度を測定できる熱電対を追加設置し、炉底部温度の制御・監視を実施し、運転を行ったところ、これまで実施した試験に比べ安定した運転を行うことができた。

この試験結果から、正確な炉底部温度の把握・コントロールが、溶融炉の安定運転につながる事が明らかとなり、六ヶ所再処理工場のガラス溶融炉においても同様に熱電対を追加設置して試験を実施し、炉底低温運転をさらに適切に実施できることを確認した後、アクティブ試験に臨んだ。



TVF炉底低温運転の当社ガラス溶融炉への適用について (2/2)

炉底低温運転の基本的考え方

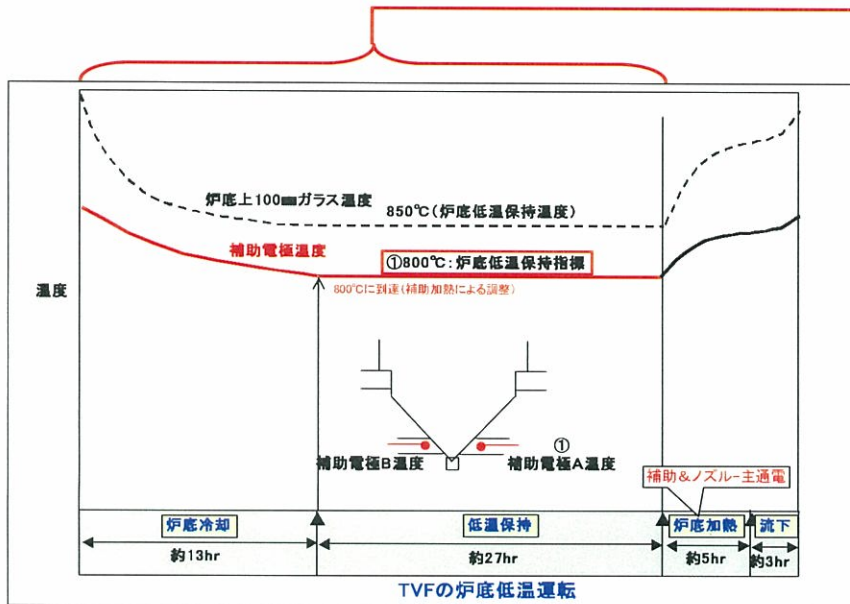
白金族元素が炉底部に沈降・堆積すると粘性が上昇し流動しにくくなることにより、白金族元素の抽出率が低下することから、炉底温度を低くして長時間の運転における白金族元素の沈降を抑制するとともに、白金族元素を流下により抽出し、堆積を防止する。

TVF1号炉

- ① 流下直後の炉底ガラス温度の高い状態から補助電極中央ガラス温度（※1）が 850℃に下がるまで自然放冷する。
- ② 補助電極中央ガラス温度（※1）が 850℃になった段階から、補助電極間通電を開始し温度を一定に保持する。

（※1）補助電極中央ガラス温度＝底部より約 100mm 上のガラス温度

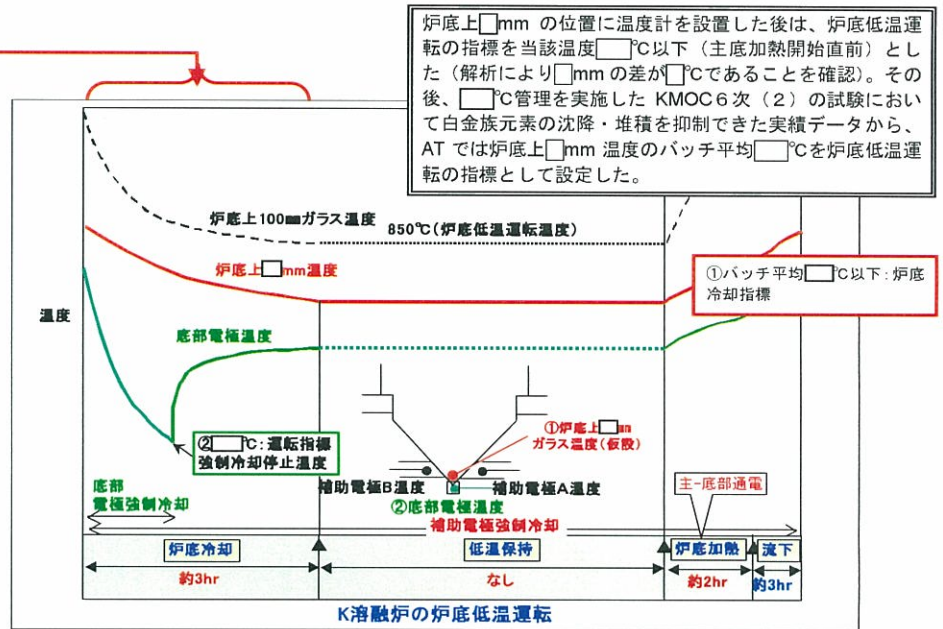
補助電極中央ガラス温度 850℃まで低下させることは、温度を低くすることによって白金族元素の沈降抑制・堆積防止を達成することを目的としており、補助電極間通電により 850℃以下にしない（一定に保持する）ことは、次の流下前準備としての炉底加熱を所定時間内に収めることと、過冷却によるガラスの結晶化防止を目的としている。



TVF→KMOC（当社ガラス溶融炉含む）への適用

KMOC は、流下後炉底部温度を低温とし、白金族元素の沈降抑制、堆積防止を図るという TVF からの炉底低温運転の考え方を引き継いでおり、底部電極 100mm 上のガラス温度を約 850℃に低下する運転については TVF と同じである。

KMOC の最大処理速度は 8 時間/バッチであり、そのうち炉底加熱時間 2 時間、流下時間 3 時間を除く残りの 3 時間で炉底ガラス温度を 850℃まで低下させる必要性があったため、流下直後の底部電極強制空冷に加え補助電極強制空冷（常時冷却）を実施した。



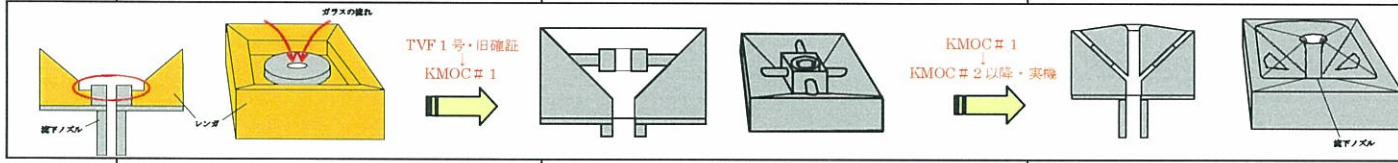
TVF の補助中央ガラス温度に対応する温度計として、炉底部から 100mm の位置に温度計を追加設置することを計画したが、追加設置におけるボーリング時のレンジ保護の観点から 100mm 位置に設置できず、□mm 位置に温度計を設置した。
 なお、あわせて K 溶融炉の補助電極中央位置である□mm 高さの位置にも温度計を設置した。

T V F 設計からの変更点の確認 及び 炉底低温運転の検証

	TVF	当社 (1号炉)		確認事項	確認方法
スケールアップ (溶融表面積)	廃液処理能力：0.35m ³ /day 溶融表面積：0.66m ²	廃液処理能力：1.68m ³ /day (70L/h) 溶融表面積：□m ²		① 所定の廃液処理能力が出る こと ② 安定運転が可能なこと ③ 低粘性流体が抑制される こと	KMOC #1 ・ 高模擬度廃液 (白金族含有) 供給時に主電極電力のみの運転では、溶融処理能力不足となった。 ⇒ 間接加熱併用運転 (主電極電力+間接加熱電力) による処理能力の確認を KMOC#2 で確認するものとした。 KMOC #2 ・ 溶融処理能力不足対策として、間接加熱併用運転の効果を確認した。また、安定したガラス温度で運転できることを確認した。 炉底熱電対追加後試験 ・ 低粘性流体が発生しやすい低模擬度廃液供給時においても、低粘性流体が抑制できることを確認した。なお、高模擬度廃液供給時には、KMOC#6(2)において、低粘性流体が抑制できることを確認している。
ガラス原料	ガラスカートリッジ 100%  ガラスカートリッジ 約φ70mm×70mm	原料ビーズ 100%  ガラスビーズ 約φ2mm			
廃液供給時の 電力投入	主電極電力のみ	主電極電力のみ (KMOC#1)	主電極電力+間接加熱電力 (KMOC#2以降)		
廃液供給 プロセス	濃縮器あり (高レベル廃液中の酸化物濃 度：一定)	濃縮なし (高レベル廃液中の酸化物濃度：燃焼度などによって変動)		① 廃液濃度に応じて運転可 能なこと	KMOC#6(2) ・ 高燃焼度廃液 (廃液濃度：約□g/L) 及び低燃焼度廃液 (廃液濃度：約□g/L) について安定運転条件を確認した。
底部電極構造	ステップアップ構造 	ストレーナ構造		① 異物閉塞防止機能を有す ること。 ② 白金族元素の抜き出し性 が向上すること。 ③ 流下性が良好であること	KMOC#1 ・ 底部電極構造変更による白金族元素抜き出し性向上を確認したが、炉底加熱性が不良であった。 ⇒ 炉底加熱性及び流下性を向上することを目的として、底部電極構造を改良し、KMOC#2 で確認するものとした。 KMOC #2 ・ 底部電極構造変更により、炉底加熱性及び流下性が向上することを確認した。
		 (KMOC#1)	 (KMOC#2以降)		
スケールアップ (ガラス保有量)	ガラス保持量：MAX 約 880kg	ガラス保持量：MAX 約 4800kg		① 炉底低温管理ができるこ と ② 白金族元素の抜き出し性 が向上すること。	KMOC#6(1) ・ 炉底低温管理のため、補助電極冷却を強化する運転は、ガラスの流動性、抜出性の低下を引き起こすことがわかった。 ⇒ 補助電極冷却の強化ではなく、バッチ時間を延ばすことで対応。 ⇒ 補助電極温度は、補助電極冷却空気量によって変動するため、炉底低温運転の管理指標としては、適さないと判断し、別途□mm 温度計を設置し、KMOC#6(2)で確認するものとした。 KMOC#6(2)以降 ・ □mm 温度計を監視し、補助電極冷却空気量の調整によって、炉底低温運転を管理できることが分かった。
白金族対策 (炉構造は除く)	炉底低温運転 (底部電極 100mm 上のガラス温度を 850℃で管理)				
	① 補助電極温度を 800℃で管理する。 ② 補助電極温度は補助電極間通電によって調整する。	(KMOC#1~KMOC#6(1)) ① 補助電極温度を□~□℃で管理する。 ② 補助電極温度は補助電極冷却空気流量によって調整する。	(KMOC#6(2)以降) ① □mm 温度をバッチ平均□℃で管理する。 ② □mm 温度は補助電極冷却空気流量によって調整する。		

TVF設計からの変更点の確認 及び 炉底低温運転の検証

	KMOC#1 (H12.8~10)	KMOC#2 (H13.5~6)	KMOC#3 (H14.7~9)	KMOC#4 (H14.11~12)
試験目的	<ul style="list-style-type: none"> 底部電極構造変更による白金族元素抜き出し性向上の確認 商用大型溶融炉（K施設）の運転特性把握 自動流下システムの確認・評価 	<ul style="list-style-type: none"> 溶融処理能力不足対策の効果確認（間接加熱併用運転、Naの廃液側への添加、Fe添加） 炉底加熱性不良対策の効果確認 白金族元素の抜き出し性評価 	<ul style="list-style-type: none"> ガラスカートリッジとガラスピースの併用運転（7：3）による運転データ取得、処理能力確認 燃焼度をパラメータとした廃液処理の運転データ取得、処理能力確認 	<ul style="list-style-type: none"> 実機の運転パラメータ設定のためのデータ取得 KMOC#3の原因究明
試験結果	<p>以下の項目について目的を達成</p> <ul style="list-style-type: none"> 底部電極構造変更による白金族元素抜き出し性向上の確認 <p>新たな課題として以下の3項目を確認</p> <ul style="list-style-type: none"> 高模擬度廃液供給時の溶融処理能力不足 炉底加熱性不良 間接加熱装置不具合に伴うドレンアウト性不良 	<p>以下の項目について目的を達成</p> <ul style="list-style-type: none"> 溶融処理能力不足対策として、間接加熱併用運転の効果を確認。 炉底構造変更により、炉底加熱性及び流下性が向上することを確認。 炉底構造変更により、白金族元素抜き出し性が向上することを確認。 炉内保有ガラス量11バッチの内3バッチ分だけ流下を行えば、溶融炉内に保有する白金族元素の90%以上が抜き出せ、保有量が低減できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ガラスカートリッジ併用運転では、低模擬度廃液で定格の処理能力である2.0tU/dの安定運転条件を確認。高模擬度廃液では、2.0tU/dで溶融性を確認したが、流下性の低下が発生。 ガラスピース100%運転では、低模擬度廃液（低燃焼度：15000MWD/t）で最大2.4tU/dの安定運転条件を確認。高模擬度廃液（低燃焼度）では、2.4tU/dの溶融性は確認したが、流下性の低下が発生。 	<ul style="list-style-type: none"> 高模擬度廃液供給試験の実施において、流下性が悪化したため回復操作（炉底空気攪拌）を実施したが、回復しなかった。 <p>【原因】</p> <p>主底間加熱における大電力投入により炉底部が局所加熱され、白金族元素沈降・堆積が加速</p>
反映事項	<p>（ハード改造）</p> <ul style="list-style-type: none"> 底部電極の改造【KMOC】 補助電極冷却方法の変更（急冷方式から常時冷却方式）【KMOC、実機】 間接加熱装置構造の変更（ケーシング構造）【KMOC、実機】 	<p>（ハード改造）</p> <ul style="list-style-type: none"> 間接加熱併用運転、【実機】 底部電極の変更【実機】 仮焼層温度測定熱電対追加【実機】 <p>（運転管理）</p> <ul style="list-style-type: none"> シャットダウンにおける3本抜き出し 	<p>（運転管理）</p> <ul style="list-style-type: none"> Na濃度の適正な管理 ピースとカートリッジとの比較、評価 	<p>（運転管理）</p> <ul style="list-style-type: none"> ガラス原料及び廃液の管理（ガラスNa濃度：□%） 主底間通電の管理 主底間抵抗の監視による正常運転の継続 流下開始時の底部電極温度の管理



	KMOC#5 (H15.2~4)	KMOC#6 (1) (H16.3~5)	KMOC#6 (2) (H16.7~11)
試験目的	<ul style="list-style-type: none"> 仮設熱電対を追加設置して、ガラス溶融炉内の温度分布を測定する。 高模擬度廃液（標準燃焼度）を用いて、KMOC#2の再現を行い、溶融炉運転の信頼性を確認する。 低燃焼度廃液の処理、流下性を確認することにより、実機で想定される廃液処理の可能性を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> K施設化学試験と平行して実施し、運転管理裕度等を考慮した長期の運転安定性について確認する。 炉底低温運転の成立性を確認する。 新規に設置した炉底ガラス温度計について、運転管理への有効性を評価する。 高模擬度廃液について、長期安定運転性を確認する。 低燃焼度廃液について、安定抜き出し性を確認する。 シャットダウン前3バッチ抜出の効果を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 炉底ガラス温度計によって炉底低温運転を確認できることがわかった。 高模擬度廃液（標準燃焼度及び低燃焼度廃液）について安定運転条件を確認した。 洗浄運転＋炉底攪拌で流下性の低下は早期回復できることが確認できた。 低燃焼度廃液はバッチ時間が長いが一括流下で運転できることを確認した。 運転終了時の3バッチ抜き出しによる次回運転への炉内残留白金族元素量低減効果を確認した。
試験結果	<ul style="list-style-type: none"> 低模擬度廃液供給試験では、底部電極冷却条件及び補助電極冷却条件を変更した場合の炉内温度分布等への影響を確認した。 東または西主電極を使用した場合の主電極－底部電極間通電時における炉内温度分布への影響を確認した。 信頼性確認試験では、20バッチの運転において、良好な運転が実施できた。 低燃焼度廃液供給試験では、溶融能力は十分であったが、バッチ時間が長くなることに対して設定した2分割流下では、白金族元素抜き出し性及び流下性が低下した。 	<ul style="list-style-type: none"> 補助電極の冷却を強化する運転は、ガラスの流動性、抜き出し性の低下を引き起こすことがわかった。 流下性低下には洗浄運転＋炉底攪拌挿入による効果がある。 	
反映事項	<p>（運転管理）</p> <ul style="list-style-type: none"> Na濃度管理は現行方法で可能 主底間通電管理は妥当 主底間抵抗監視は適切 流下開始時の底部電極温度は□～□℃が妥当 流下速度制限（□kg/h⇒□kg/h）は妥当 	<p>（ハード改造）</p> <ul style="list-style-type: none"> 炉底ガラス温度計設置【KMOC】 <p>（運転管理）</p> <ul style="list-style-type: none"> 安定運転を行うための補助電極温度管理 流下性低下時の早期回復運転方法 	<p>（ハード改造）</p> <ul style="list-style-type: none"> 炉底ガラス温度計設置【実機】 <p>（運転管理）</p> <ul style="list-style-type: none"> 安定運転を長期継続する運転条件（バッチ時間と補助電極冷却空気量） 運転管理項目の改善